

可視化システムを用いたシミュレーション技術の高度化 (シミュレーションを用いた地場企業の製品開発工程支援)

機械システム科 主任研究員 入江直樹

近年における高性能かつ廉価で使いやすいパーソナルコンピュータの普及は流体分野においても汎用計算力学ソフトウェアの利便性を高め、流れ現象に関連するシミュレーション技術の発展に大きく寄与している。これを受けて、当該汎用計算力学ソフトウェアを用いたシミュレーション技術を自社製品開発に活かして製品開発期間の短縮化や差別化技術の創出につなげたいとの要望を地場企業から受けている。地場企業が取扱う気流及び粒子の特性を計測可能とする可視化システムについて研究開発を行い、その計測結果を汎用計算力学ソフトウェアに入力してシミュレーション技術の計算精度向上を図るとともに地場企業のシミュレーション技術を用いた製品開発工程に貢献することを本研究の目的としている。令和元年度においてはPIV (Particle Image Velocimetry：粒子画像流速測定法)を用いた可視化システムの計測精度向上に取り組んだ。また、可視化システムを用いて簡易的な送風機模型の流れを計測して流体解析シミュレーションの結果と比較検討した。

1. 緒言

流れ現象の解明と制御は船舶、自動車などの輸送機械の性能や安全性、高層ビルの耐風性や風害など対策を講じる上で非常に重要となる。PIVは、その流れ現象の速度分布を計測することができ^[1]、流体振動が発生している状態における遠心圧縮機の内部流れ計測^[2]や騒音発生源を特定するための送風機の内部流れ計測などが報告されている^[3]。

図1にPIVを用いた可視化システムの概要を示す。流れ場にトレーサ粒子を混入してシート状の光源を照明する。照明されたトレーサ粒子を記録媒体に2時刻の瞬間的な粒子画像として記録する。その2時刻の画像上のトレーサ粒子像から求めた移動量と画像間の時間間隔から流れの速度を計算できる^[1]。令和元年度は平成30年度に試作した可視化システム^[4]の計測精度向上に取り組み、その計測結果と流体解析シミュレーションの結果を比較検討した。

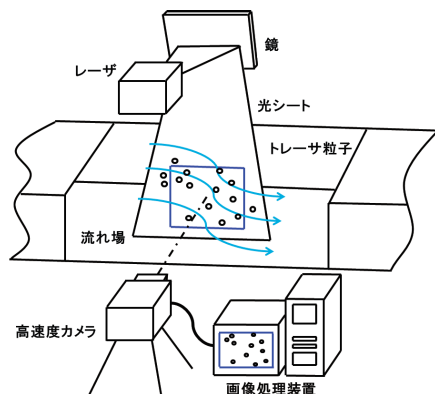


図1 PIVを用いた可視化システムの概要

2. 実験方法と結果

2.1 送風機(模型)を対象としたPIV計測

図2に示すように一定の回転数で回転している送風機の吹き出し口近傍においてPIV計測した。図3に対象の送風機の断面図を示す。羽根枚数8枚、出口外径 $\phi 104$ mmのインペラをケーシングに格納した構造をしており、送風機とケーシングは可視化のためにアクリルを用いて製作している。実験時の送風機の回転数は440 rpmである。送風機のエアー吸入口からトレーサ粒子となるDEHS (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat：セバシン酸ビス(2-エチルヘキシン))を混入して、シートビームレーザ(可視化照明用シートビームレーザ3Wタイプ、ウシオ電機(株))を送風機の吹き出し口から照射した。当該シートビームレーザ上で散乱するトレーサ粒子像をハイスピードカメラ(型番：PL3、



図2 可視化システムを用いた実験

シナノケンシ (株) を用いて撮影した。図4は撮影した画像であり、画素数は1,280ピクセル×1,024ピクセルである。本研究におけるPIV計測の範囲は、32ピクセル×32ピクセルの検査領域を横に30個、縦に25個である。

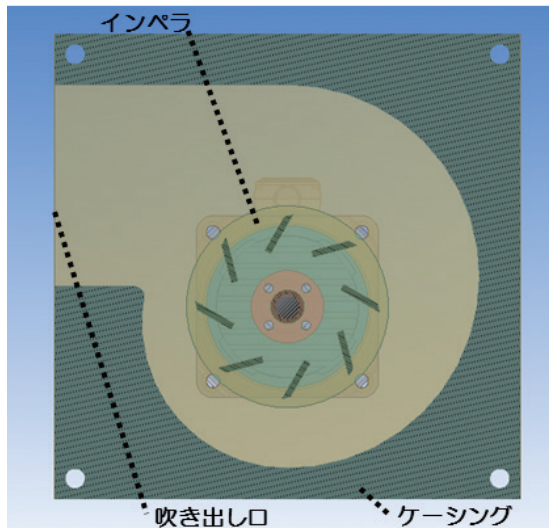


図3 送風機 (模型) の断面図

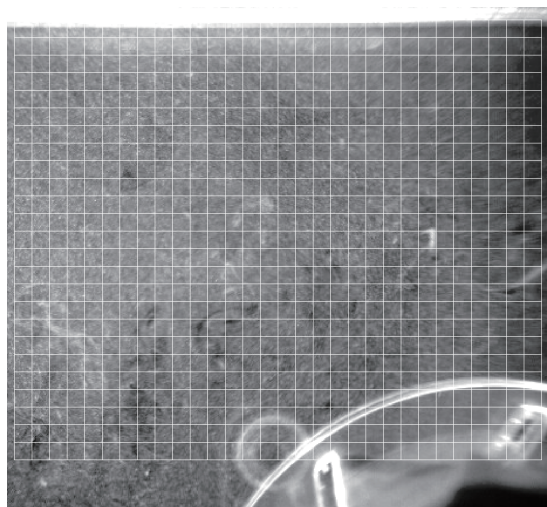


図4 撮影した画像と検査領域の範囲

2.2 誤ベクトルの検出と除去処理

図4の画像の次時刻の画像に対して、各検査領域を中心とした上下左右方向に20ピクセルの探索領域を設定して差分法によるテンプレートマッチング^{[5], [6]}を行った。

当該PIV計測から得た速度分布の画像を図5に示す。図5に示すように、実際とは異なる誤ったトレーサ粒

子の対応づけが行われてしまうと非常に大きな誤差を含む誤ベクトルが現れることがある。この誤ベクトルの周囲に誤差が伝搬して不可解な結果を得ることとなるため除去手法を検討した。本研究では文献[1]を調査した結果から、統計に基づく手法の一つであり、広く使用されている普遍的誤ベクトル検知法^[7]を用いた。当該手法は対象とするベクトルに対して、周囲8点のベクトル統計量を用いて推奨する計算式としきい値によりベクトルを正誤判断する。図6に誤ベクトルを除去処理した速度分布を示す。

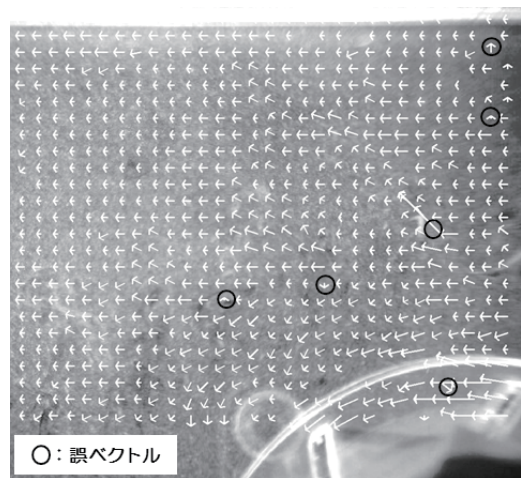


図5 PIV計測した画像 (速度分布)

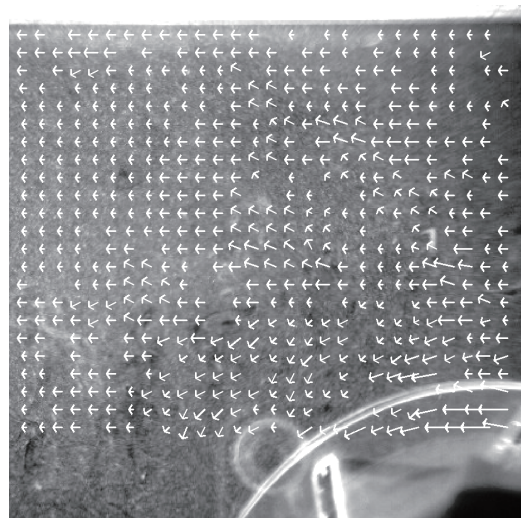


図6 誤ベクトル除去処理後の速度分布

2.3 流体解析シミュレーションを用いた数値解析

図3に示す送風機の断面図を作成した3次元データに基づいて解析モデルを作製して、流体解析シミュレーションを用いた数値解析を実施した。流体解析シミュレーションはアンシス・ジャパン (株) のFluent

(R17.1) を使用した。計算格子は非構造格子 (テトラメッシュ) を用いて全体の格子数を 54 万点程度としており、乱流モデルは $k-\varepsilon$ モデル、解析方法は非圧縮性定常流れである。図 7 に流体解析シミュレーションから得た速度分布を示す。

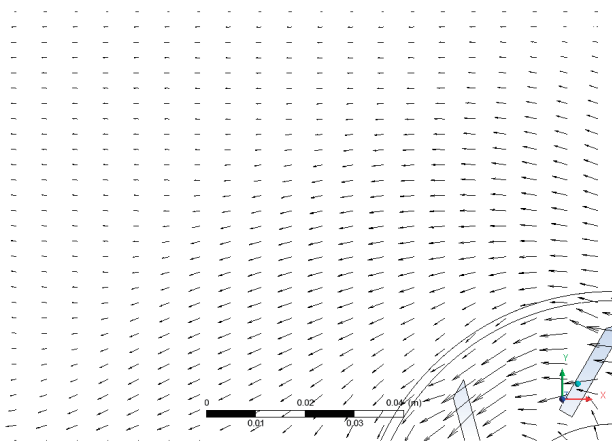


図 7 流体解析シミュレーションの結果 (速度分布)

3. 考察

3.1 誤ベクトルの検出と除去処理

図 5 において○で囲んだベクトルは周囲のベクトルと比較して誤ベクトルと推測される。図 6 に示すように推測した誤ベクトルを除去しており普遍的誤ベクトル検知法は有効な手段であると考えている。また、誤ベクトルを除去した区画においては失われた情報を推定して補間する方法について検討する予定にある。

3.2 流体解析シミュレーションを用いた数値解析

速度分布について PIV 計測の結果である図 6 と数値解析の結果である図 7 を用いて比較検討した。

最大流速はともに羽根近傍領域に見受けられ、PIV 計測では 2.21 メートル毎秒、数値解析結果では 2.08 メートル毎秒であった。

流れについてはインペラ出口外径の外周に沿った反時計周りの流れが PIV 計測結果、数値解析結果ともに見受けられる。一方で、図 6 の画像の左上へ向かう流れは PIV 計測においては観測できるが数値解析結果では見受けられない。これに対して、流体解析シミュレーションを用いた非圧縮性非定常解析の検討と流れの不安定性を招く要因と考えられる吸込み流量変動などについて検討していく予定にある。

4. 結 言

本研究の成果について以下に要約する。

- 1) PIV の計測誤差を招く要因を取り除くため、普遍的誤ベクトル検知法を用いた誤ベクトルの検出を行い、推測した誤ベクトルを除去することが可能であった。今後、誤ベクトルを除去した区画においては周囲の速度ベクトルを用いた内挿補間の適用を検討する。
- 2) 簡易的な送風機 (模型) において PIV 計測を行い、流体解析シミュレーションを用いた数値解析の結果と比較検討した。最大速度については類似した結果を得たが流れ現象については若干の相違が見受けられ、主に流れの不安定性を招く要因について今後検討する予定にある。

参考文献

- [1] 一般社団法人 可視化情報学会、PIV ハンドブック (第 2 版)、2016.10.
- [2] 大内田：遠心圧縮機内部流れの PIV 計測、可視化情報学会誌 Vol.39、No.153、pp.7-10、2019.4.
- [3] 鎌谷：送風機の品質向上への取組み、工業加熱 Vol.56、No.3、pp.7-10、2019.5.
- [4] 入江：可視化システムを用いたシミュレーション技術の高度化、工業技術センター研究報告、No.48、pp.11-12、2019. 10.
- [5] Adrian Kaehler, Gary Bradski：詳解 OpenCV3 コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識、株式会社オライリー・ジャパン、2018. 5.
- [6] 北山：OpenCV3 基本プログラミング、株式会社カットシステム、2016.5.
- [7] Westerweel, J., & Scarano, F.: Universal outlier Detection for PIV data, Exp. Fluids, Vol.39, pp.1096-1100, 2005.